

УДК 669.295, 669-13

В. Е. Веселова^{1*}, С. В. Гладковский¹, В. П. Волков¹, Д. Р. Салихьянов^{1,2}¹ Институт машиноведения УрО РАН, г. Екатеринбург² Институт физики металлов им. М. Н. Михеева УрО РАН, г. Екатеринбург* veselova@imach.uran.ru

РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДВУХФАЗНОГО ТИТАНОВОГО СПЛАВА VT23 ПРИ ГОРЯЧЕЙ ДЕФОРМАЦИИ В ШИРОКОМ ТЕМПЕРАТУРНОМ ДИАПАЗОНЕ

Представлены результаты испытаний двухфазного титанового сплава VT23 на пластометрическом комплексе ИМАШ УрО РАН в диапазоне температур 700–1200 °С, построены кривые деформирования. Выявлены пиковые значения напряжений σ_s на кривых деформирования, изучена структура сплава после различных температур нагрева.

Ключевые слова: титановый сплав, структура, сопротивление деформации, реологические свойства, пластометр

V. E. Veselova, S. V. Gladkovsky, V. P. Volkov, D. R. Salikhyanov

RHEOLOGICAL PROPERTIES OF TWO-PHASE TITANIUM ALLOY VT23 UNDER HOT DEFORMATION IN A WIDE TEMPERATURE RANGE

The results of tests of two — phase titanium alloy VT23 on the plastometric complex IES UB RAS in the temperature range 700–1200 °C are presented, deformation curves are constructed. Peak values of stresses σ_s on deformation curves are identified, the microstructure of the alloy after different heating temperatures is studied.

Keywords: titanium alloy, microstructure, strain resistance, rheological properties, plastometer

Титановые сплавы широко используются в аэрокосмической технике, энергетике и химической промышленности, благодаря хорошему сочетанию прочности, пластичности, коррозионной стойкости и способности выдерживать высокие температуры [1]. Горячая деформация является традиционным видом обработки для изготовления полуфабрикатов и готовых изделий из этих сплавов [2]. Извест-

но, что микроструктура и фазовый состав оказывает большое влияние на процесс деформирования [3]. В литературе имеются обширные данные по деформационным характеристикам однофазных титановых сплавов [4]. Однако исследования реологического поведения двухфазных титановых сплавов, в частности сплава ВТ23, носят фрагментарный характер. В связи с этим, целью настоящей работы являлось изучение влияния микроструктуры и фазового состава на реологическое поведение титанового сплава ВТ23 при различных температурах деформационной обработки.

Исследования проводились на образцах двухфазного ($\alpha+\beta$)-титанового сплава, химический состав которого соответствовал ОСТ 1-90013–81. Испытания на осадку образцов выполнены на пластометре кулачкового типа в интервале температур 700–1200 °С при скорости деформации ξ , равной 1,0 с⁻¹. Степени деформации e образцов, достигнутые в экспериментах, лежат в диапазоне 0,6–1,0 ($e = \ln(h_0/h_k)$, где h_0 и h_k — начальная и конечная высота образца). Металлографические исследования проводились на встроенном в микротвердомер Shumadzu NMV-G21DT оптическом микроскопе. Рентгенофазовый анализ образцов выполнен на дифрактометре ДРОН-3, в медном $K\alpha$ -излучении.

В результате экспериментов на пластометре получены кривые течения титанового сплава ВТ23 в температурном диапазоне испытания 700–1200 °С, с шагом 100 °С, при скорости деформации $\xi = 1,0$ с⁻¹, приведенные на рисунке.

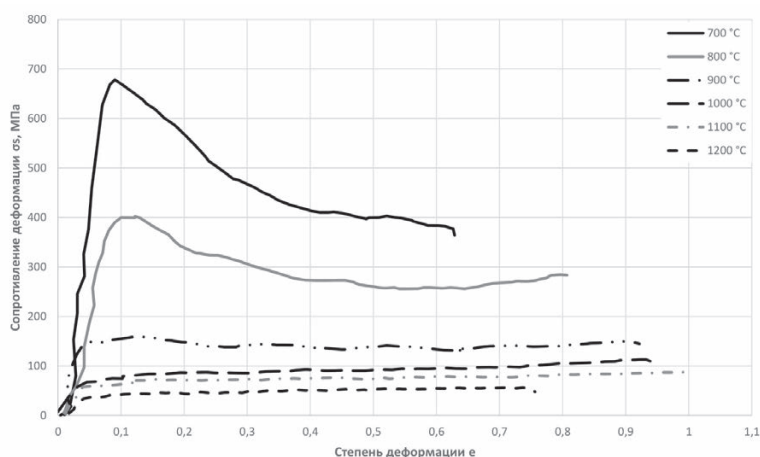


Рис. Кривые течения титанового сплава ВТ23 при температурах деформации 700–1200 °С и скорости деформации $\xi = 1,0$ с⁻¹

Из кривых течения сплава ВТ23 (на рис.) при температурах деформации 700 и 800 °С можно отметить наличие выраженного пикового напряжения при степени деформации, близкой к 0,1, с последующим разупрочнением и выходом на установившуюся стадию течения. Интенсивное упрочнение на начальной стадии деформации в температурном диапазоне $(\alpha+\beta)$ -области объясняется тем, что α -фаза имеет ГПУ-решетку, характеризующуюся ограниченным количеством плоскостей скольжения, что и вызывает дополнительное упрочнение. При температуре пластометрических испытаний 900 °С и выше сопротивление деформации сплава в процессе осадки практически находится на установившемся уровне без ярко выраженных пиковых значений. Это связано с протеканием процесса деформации сплава ВТ23 преимущественно в β -области в условиях развития динамического возврата и увеличения плоскостей скольжения ОЦК-решетки β -фазы.

Изменения микроструктуры при высокотемпературной деформации титановых сплавов характеризуются несколькими одновременно протекающими процессами: динамической рекристаллизацией, полиморфным превращением ($\beta \rightarrow \alpha''$) и сфероидизацией.

Рентгенофазовый анализ образцов после испытаний в $(\alpha+\beta)$ -области при температурах 800, 860 и 900 °С показал наличие трех фаз — α -фазы, β -фазы, как в исходном, так и в рекристаллизованном состоянии, а также мартенситной α'' -фазы, образовавшейся во время высокотемпературной деформации из β -фазы. Образование деформационного-индуцированного мартенсита оказывает влияние на реологическое поведение данного сплава.

Таким образом, полученные в работе результаты могут быть использованы при выборе режимов деформационной обработки сплава титана ВТ23. В частности, рекомендуется проведение первых этапов деформационной обработки в β -области в интервале температур 950–1200 °С с целью снижения энергетических затрат, а заключительный этап — в двухфазной $(\alpha+\beta)$ -области при температуре не выше 900 °С, чтобы предотвратить рост зерна.

Литература

1. Хорев А. И. Фундаментальные и прикладные работы по конструкционным титановым сплавам и перспективные направления их развития // Труды ВИАМ. 2013. № 2. Ст. 04 (viam — works.ru).

2. Determining a flow stress model for high temperature deformation of Ti–6Al–4V / E. Calvert [et al.] // Materials Science Forum. 2015. Т. 828–829. С. 441–446. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.828–829.441.

3. Hot deformation behavior of Ti–6Al–4V alloy: effect of initial microstructure / Z. X. Zhang [et al.] // Journal of Alloys and Compounds. 2017. Т. 718. С. 170–181. DOI: 10.1016/j.jallcom.2017.05.097.

4. Robertson D. G., McShane H. B. Isothermal hot deformation behavior of metastable beta titanium alloy Ti–10V–2Fe–3Al // Materials Science and Technology. 1997. Vol. 13. P. 575–583. DOI:10.1179/026708397790285566.